

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСПАДА β -ФАЗЫ НА ПРОТЕКАНИЕ ПОЛИМОРФНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ НАГРЕВЕ В ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ

Гадеев Д.В.

Руководитель – доц., к.т.н. Илларионов А.Г.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия
Illarionovag@mail.ru, dr.kruft@gmail.com

В настоящей работе методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) исследовано влияние температуры изотермического распада переохлажденной β -фазы на протекание $\alpha+\beta\rightarrow\beta$ -превращения при непрерывном нагреве, протекающем в высокопрочном титановом сплаве ($\alpha+\beta$)-переходного класса VST5553.

Материалом исследования служил титановый сплав VST5553 (Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr), выплавленный и обработанный на ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА». Равновесная температура конца полиморфного превращения $T_{\text{пп}}$ исследованной плавки сплава, определенная металлографическим методом пробных закалок, составила 837 °С (закалки проводились с температурным шагом 5 °С). Структура сплава в исходном состоянии (рис. 1) представлена относительно крупным исходным β -зерном, в теле которого на фоне β -превращенной структуры наблюдаются крупные колонии первичной α -фазы пластинчатой морфологии.

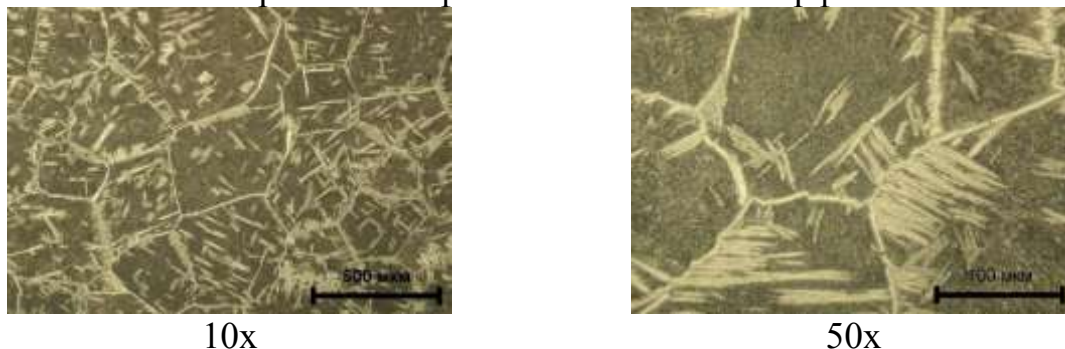


Рисунок 1 – Микроструктура сплава VST5553 в исходном состоянии

В ходе исследования образцы (кубик со стороной 3 мм) из исследуемого сплава нагревались в однофазную β -область в измерительной ячейке прибора ДСК NETZSCH STA 449 C Jupiter до температуры 950 °С со скоростью 50 °С, выдерживались в течение 3-х минут и охлаждались с аналогичной скоростью до температуры изотермической выдержки (500...700 °С). После выдержки в течение 1 часа проводился повторный нагрев до температуры 950 °С. С целью минимизации влияния окисления образцов на результаты ДСК, все эксперименты проводились в атмосфере очищенного аргона.

В соответствии с диаграммой старения (рис. 2) закаленного сплава VST5553 (устойчивость переохлажденной β -фазы при охлаждении из

однофазной β -области несколько выше) и ДСК-кривыми, полученными при охлаждении образцов, выбранная скорость охлаждения 50 °/мин обеспечивает преимущественное подавление диффузионного распада β -фазы при охлаждении до температуры выдержки и распад β -фазы проходит, в основном, в изотермических условиях.

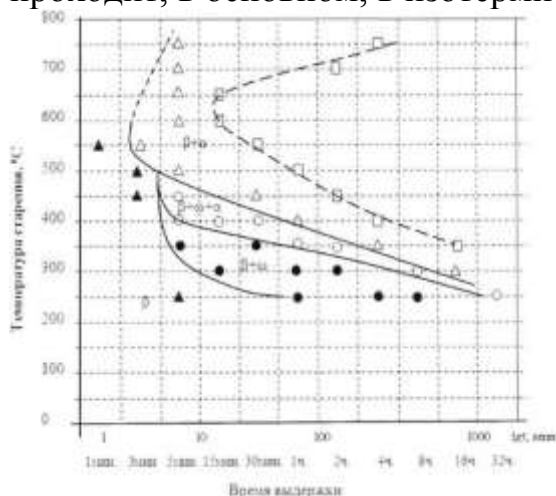


Рисунок 2 – Диаграмма изотермического распада β -фазы при старении закаленного сплава VST5553 [1]

По литературным данным [2] и результатам собственных исследований, с равновесной $T_{\text{пп}}$ при непрерывном нагреве во многих случаях удовлетворительно соотносится температура максимума первой производной сигнала ДСК на термограмме. В соответствии с этим в настоящей работе за $T_{\text{пп}}$ сплава так же брали максимум производной на термограмме повторного нагрева после изотермической выдержки (рис. 3).

На приведенных участках термограмм видно, что температура максимума производной на термограмме повторного нагрева после изотермической выдержки повышается с ростом температуры выдержки.

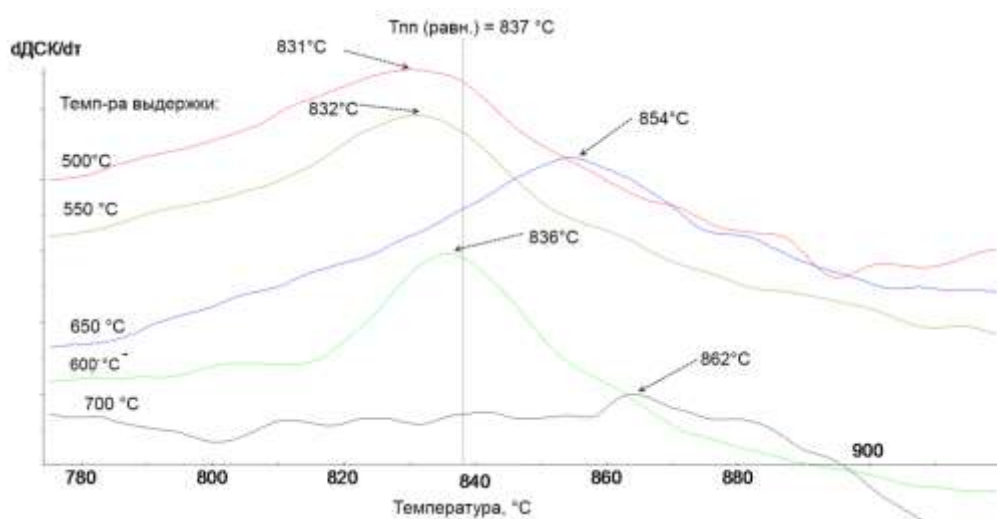


Рисунок 3 Линии первых производных ДСК-кривых непрерывного нагрева образцов VST5553 после различных температур изотермической выдержки

На основании анализа полученных данных была построена зависимость температуры конца $(\alpha+\beta) \rightarrow \beta$ -превращения сплава от температуры изотермической выдержки (рис. 4). На приведенной

зависимости можно выделить 3 характерные области: область медленного монотонного увеличения регистрируемой $T_{пп}$ до температур выдержки порядка 600 °С, участок скачкообразного увеличения $T_{пп}$ сплава в интервале температур выдержки 605...650 °С и область дальнейшего монотонного увеличения $T_{пп}$, однако более интенсивного, чем на 1-м участке.

На детальное выяснение причин подобной температурной зависимости будут направлены дальнейшие исследования, однако на текущем этапе можно сделать некоторые предположения.

Из общих положений материаловедения известно, что предельная растворимость компонентов на межфазной границе зависит от размера выделяющихся из твердого раствора частиц. При этом, равновесные условия подразумевают выделения с плоской межфазной границей. По мере уменьшения размера частиц, предельная растворимость изменяется.

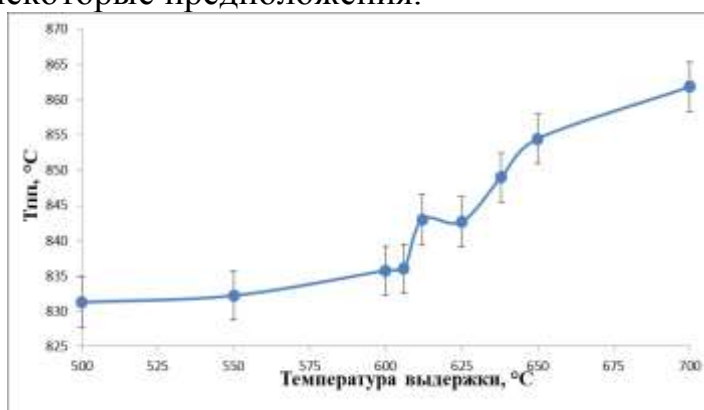


Рисунок 4 – Зависимость $T_{пп}$ сплава VST5553 от температуры изотермической выдержки

При температурах изотермической выдержки ниже 600 °С диффузия атомов легирующих элементов в β -фазе затруднена, при этом при выдержке происходит выделение большого числа мелких частиц α -фазы, межфазная α/β -граница имеет ограниченный радиус, в результате выделяющаяся α -фаза может быть пересыщена по β -стабилизаторам, что способствует снижению $T_{пп}$ при нагреве ниже равновесной. По мере увеличения температуры изотермической выдержки возрастает скорость диффузии, растет размер выделений α -фазы, форма межфазных границ стремится к плоской, что способствует повышению фиксируемой $T_{пп}$ при последующем нагреве.

Таким образом, в целом возрастание регистрируемой $T_{пп}$ сплава при нагреве можно объяснить увеличением размера растворяющихся при нагреве α -частиц. Скачкообразное повышение регистрируемой $T_{пп}$ может быть связано с тем, что в интервале температур выдержки 600...625 °С наблюдается минимальная устойчивость переохлажденной β -фазы, поэтому время для зарождения и роста частиц α -фазы путем диффузии является максимальным, а значит образуются наиболее крупные и равновесные по составу α -выделения, растворение при нагреве которых затруднено. Растворение относительно крупных и равновесных по составу частиц α -фазы, образовавшихся при изотермической выдержке при температурах

выше 625 °С, требует протекания диффузионных процессов, время для которых при непрерывном нагреве с относительно высокой скоростью нагрева ограничено. Поэтому, возможно возрастание температуры окончания растворения α -фазы при нагреве выше равновесной $T_{пп.}$, что мы и наблюдаем.

1. Щетников Н.В. Структурообразование и формирование свойств в $\alpha+\beta$ -титановых сплавах при термической и термомеханических обработках / Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд.техн.наук. Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 2006, 24 с.
2. Tian, F. Measurement of beta transus temperature of BT25 titanium alloy by physical analysis and metallographic observation methods / Tian, F Zeng, W.-D., Ma, X., Sun, Y., Zhou, Y.-G. // Transactions of Materials and Heat Treatment. Volume 32, Issue 5, May 2011, Pages 1-5